

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 41 00 006 A 1

(51) Int. Cl. 5:  
G 01 F 1/84

(71) Anmelder:  
Zaschel, Jörg, Dr., 7410 Reutlingen, DE

(72) Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Universelles Massestrommeßgerät für Flüssigkeiten, Gase und Feststoffe

(57) Die erfindungsgemäße Aufgabe besteht darin, ein Massestrommeßgerät zu realisieren, das gleichermaßen für Flüssigkeiten, Gase und Feststoffe geeignet ist. Gegenüber dem Stand der Technik ergeben sich die wesentlichen Vorteile eines von den üblichen Leitungsverlusten nur wenig abweichen Druckverlustes, der Ausführbarkeit in großen und kleinen Nennweiten, der Unempfindlichkeit gegen Einbaubedingungen und Störungen aus der Prozeßanlage bei gleichzeitig niedrigen Herstellkosten und der Verwendung von Meßrohren mit üblichen Wandstärken.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird mit Hilfe des Phänomens der Coriolisbeschleunigung als Meßprinzip in Verbindung mit gezielt beweglichen Meßrohren und einer auf optimierenden Schätzverfahren beruhenden Meßsignalverarbeitung gelöst.

Das erfindungsgemäße Massestrommeßgerät ist für die vielfältigen Meßaufgaben der kontinuierlichen Durchflußmessung in allen Zweigen der Verfahrenstechnik einzusetzen.

DE 41 00 006 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 41 00 006 A 1

## Beschreibung.

Die Erfindung betrifft ein Meßgerät, mit dem der Massestrom aller Arten von Stoffen und unabhängig von deren Eigenschaften, wie z. B. Dichte, Temperatur, Viskosität, direkt gemessen werden kann. Derartige Geräte werden zur kontinuierlichen Kontrolle des Massestroms in den Produktionsprozessen der chemischen, pharmazeutischen, Kunststoff-, Getränke-, Lebensmittel-, Futtermittel-, Papier- und Grundstoffindustrie sowie zum kontinuierlichen Chargieren, Abfüllen und Bilanzieren der betreffenden End- und Zwischenprodukte benötigt.

Es sind sogenannte Massedurchflußmesser bekannt, die den Massestrom von Flüssigkeiten direkt messen und die unter Ausnutzung des Coriolisprinzips arbeiten. Sie sind dem Stand der Technik nach in der Form aufgebaut, daß gebogene oder gerade Rohrstücke mit hoher Präzision in Halterungen fest eingespannt werden (DE 14 98 446, DE 28 22 087). Diese Durchflußmesser sind alle dadurch gekennzeichnet und dementsprechend konstruiert und gefertigt, daß die infolge von Corioliskräften auftretenden und meßtechnisch erfaßten Verformungen jener Rohrstücke bereits die absolute Genauigkeit des Meßwertes enthalten. Folglich handelt es sich bei diesen Massedurchflußmessern um äußerst aufwendige Konstruktionen, was sich hinsichtlich ihrer Verwendung in den folgenden wesentlichen Nachteilen niederschlägt:

- Beschränkung des Meßstoffs auf Flüssigkeiten und wenige Gase
- hohe Herstellkosten und damit hoher Preis
- hoher Druckverlust
- Begrenzung der Nennweite (Meßbereich) nach unten und insbesondere nach oben
- große Einbaumaße
- Empfindlichkeit gegen Einbaubedingungen
- Empfindlichkeit gegen Störungen aus der angeschlossenen Prozeßanlage
- begrenzte Lebensdauer durch dünne Meßrohre.

Es sind auch Anordnungen bekannt, die zur Vermeidung dünner Rohre und zur Erzeugung eines ausreichenden Meßeffekts anstelle fest eingespannter Meßrohre solche verwenden, die mittels flexibler Elemente an die Ein- und Ausläufe von der Prozeßrohrleitung her angeschlossen sind (US-Patent 39 27 565). Aber auch bei diesen Geräten liegt die zur Bildung eines ausreichend genauen Meßwerts erforderliche Präzision in der aufwendigen konstruktiven Gestaltung des Meßrohrs. Außerdem gibt es keine nach diesem Bauprinzip ausgeführten Geräte, was den Schluß zuläßt, daß eine derartige Realisierung den bestehenden technischen Anforderungen nicht gerecht werden kann.

Dem Anmelder hat sich also die technische Aufgabe gestellt, über den vorbeschriebenen Stand der Technik hinaus ein Massestrommeßgerät zu entwickeln, das sowohl zur Messung von Flüssigkeiten als auch von Gasen und Feststoffen geeignet ist, preisgünstig hergestellt und damit zu einem hinsichtlich der Marktgegebenheiten angemessenen Preis verkauft werden kann, einen von den üblichen Leitungsverlusten nur wenig abweichenden Druckverlust hat, in einem weiten Bereich von Nennweiten ausgeführt werden kann, mit kleinen Abmessungen kompakt gebaut werden kann, gegen Einbaubedingungen und Störungen aus der Prozeßanlage unempfindlich ist und schließlich Meßrohre hat, deren

Wandstärken sich von denen üblicher Prozeßleitungen nur unwesentlich unterscheiden.

Die erfundungsgemäße Aufgabe wird gemäß Anspruch 1 gelöst, indem in einem Corioliswandler als Meßrohr ein gewöhnlich gerades oder gekrümmtes Rohrstück, dessen Enden in einer Achse liegen, verwendet wird, das über flexible Anschlußelemente, z. B. Wellenschläuche, an den in einer Achse liegenden Ein- und Auslauf von der Prozeßrohrleitung her derart angegeschlossen wird, daß es sich in jeder Richtung frei bewegen kann. Dieses Meßrohr kann mittels der flexiblen Anschlußelemente selbst, eines Gelenks oder auf andere Weise gelagert sein. In dieser Lagerung wird es durch einen geeigneten Antrieb, z. B. eine oder mehrere Tauchspulen, auf einer Kreisbahn um eine Achse, die senkrecht zur Ein-/Auslaufachse liegt, hin- und herbewegt. Die antreibende Bewegung kann auch eine kreisende Bewegung des Meßrohrs derart sein, daß seine eigene Achse stets parallel zur Ein-/Auslaufachse liegt. Zusammen mit der Strömungsgeschwindigkeit des Meßstoffs entstehen auf bekannte Weise Corioliskräfte, die auf die Drehbewegung rückwirken. Diese Rückwirkung wird mittels üblichen Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssensoren erfaßt und ausgewertet.

Die auf diese Weise entstehenden Rohmeßsignale sind gegenüber herkömmlichen Geräten mit erheblichen Störungen behaftet. Sie werden daher zweckmäßigerverweise zunächst mit Hilfe eines die Rückwirkung durch die Corioliskräfte kompensierenden Verfahrens, sogenanntes Servoprinzip, erzeugt, um eine grobe Störunterdrückung zu erreichen. Aus einem derartigen störbehafteten Meßsignal läßt sich nun dennoch der gesuchten Meßgröße entsprechende Meßwert, die sogenannte Zustandsgröße mit der geforderten Genauigkeit ermitteln, indem es mit einem modellgestützten Schätzverfahren, auch Beobachtersystem genannt, verarbeitet wird. Solche Schätzverfahren sind aus der Schwingungsmechanik oder der Flugregelung bekannt (Isermann, R.: Identifikation und Parameterschätzung dynamischer Prozesse, VDI-Z 116, 1974, Nr. 14 bzw. Entenmann, W.: Optimierungsverfahren, Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1976).

Hierzu wird von dem Corioliswandler auf bekannte Weise ein mathematisches Modell, das die erforderlichen Zustands- und Übertragungsmatrizen enthält, aufgestellt und seine Parameter in einem Kalibrierlauf ermittelt. Das störbehaftete, eigentliche Meßsignal wird dann mit Hilfe eines optimierenden Filters, z. B. eines Kalman-Filters, verarbeitet. Unter Einbeziehung des jeweiligen Systemzustandes des Corioliswandlers wird hieraus ein Schätzwert für den Massedurchfluß gebildet und ausgegeben. Außerdem wird aus diesem Schätzwert mit Hilfe der vorher ermittelten Übertragungsmatrix ein berechneter Meßwert gewonnen, der dann fortlaufend mit dem störbehafteten, eigentlichen Meßsignal verglichen wird. Aus der dabei ermittelten Abweichung wird dann über das optimierende Filter auf die vorbeschriebene Weise ein verbesselter Schätzwert für den Massedurchfluß berechnet.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

An Hand der Zeichnungen wird die Erfindung im folgenden näher erläutert.  
Eine Ausführung des erfundungsgemäßen Massestrommeßgeräts, s. Fig. 1, enthält als Meßrohr ein gerades Rohrstück 1, das mit einfachen metallischen Wellenschläuchen 2 an die Ein-/Auslaufansätze 3 angeschlossen ist. Zwischen Rohrstück 1 und dem umschließenden

Gehäuse 4 sind der Dreherzeuger 5 und die Sensoren 6 angebracht. Auf dem Gehäuse 4 befindet sich die Elektronik 7 mit Meßwertbildung, Stromversorgung und den anderen üblichen elektrischen Schalt- und Anschlußelementen, umschlossen vom Schutzgehäuse 8. Die elektrischen Ein- und Ausgänge sind 9 und 10.

Das Blockschaltbild, siehe Fig. 2, zeigt den Meßwertpfad mit Sensoren 6, Kompensationssensor 12, Signalanpassung 13, A/D-Wandler 14 und Mikroprozessor 15. Die Drehbewegung des Meßrohrs wird über den D/A-Wandler 17, den Verstärker 16 und den Erreger 5 generiert. Im Mikroprozessor 15 läuft die Zustandsschätzung für den Massedurchfluß ab.

In Fig. 3 wird die Zustandsschätzung erläutert. Am Eingang a des Mikroprozessors 15 steht das störbehaftete, eigentliche Meßsignal

$$z = Hx + v$$

an, worin  $x$  der Massedurchfluß,  $H$  die Übertragungsmatrix des Corioliswandlers und  $v$  die im Corioliswandler erzeugten Störungen (Meßrauschen) sind. Der Massedurchfluß  $x$  ist als Zustandsgröße des Corioliswandlers definiert durch seine Ableitung nach der Zeit

$$x' = Fx + Gw,$$

worin  $F$  die Zustandsmatrix des Corioliswandlers,  $w$  vom Meßprozeß auf den Corioliswandler einwirkende Störungen und  $G$  die Übertragungsmatrix für diese Störungen sind.

Das eigentliche Meßsignal  $z$  wird im Vergleicher 20 mit dem an f anstehenden berechneten Meßsignal  $z^{\wedge}$  verglichen. Die daraus ermittelte, an b anstehende Abweichung  $\# z$  wird dem Kalman-Filter 21 zugeführt, das auf bekannte Weise definiert ist. Der Schätzwert  $x^{\wedge}$  für den Massedurchfluß ergibt sich sodann durch Verknüpfung des Filterergebnisses  $K[\# z]$  an c und des über die Zustandsmatrix  $F$ , 22, an e anstehenden Schätzwertes  $Fx^{\wedge}$ . Dieser schließlich liefert mit Hilfe der Übertragungsmatrix  $H$ , 23, das berechnete Meßsignal  $z^{\wedge}$  auf der Basis des neuen Schätzwertes  $x^{\wedge}$ , das wiederum dem Vergleicher 20 zugeführt wird.

Als Meßwert für den Massedurchfluß steht der aktuelle Schätzwert  $x^{\wedge}$  am Ausgang A des Mikroprozessors 15 fortlaufend zur Verfügung.

Für die Lagerung des Meßrohrs besteht zunächst die Lösung, sie gem. Fig. 4 durch die flexiblen Anschlußelemente 2 selbst vorzunehmen, sofern sich Massen und Steifigkeiten dieser Elemente, des Meßrohrs und des Meßstoffs in günstiger Weise für das Bewegungsverhalten des Meßrohrs aufeinander abstimmen lassen. Andernfalls kann das Meßrohr mittels eines Gelenks 4 gem. Fig. 5 oder in vorteilhafter Art wegen der Berührungslosigkeit durch einen Elektromagneten 24, z. B. durch Ausnutzung von Wirbelströmen, gelagert werden, siehe Fig. 6.

Der Antrieb des Meßrohrs zu Drehbewegungen kann gem. Fig. 7 durch bekannte Krafterzeuger 5, z. B. Tauchspulen erfolgen. Eine besonders interessante Möglichkeit des Antriebs ist der durch die Strömung selbst gem. Fig. 8 mit Hilfe von speziellen, im Meßrohr gelagerten Wirbelkörpern 11.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen darin, daß sich durch sie Massestrommeßgeräte mit einem einfach und damit kostengünstig aufgebauten mechanischen Teil als Corioliswandler realisieren lassen. Weitere Vorteile sind die gegenüber dem Stand der

Technik hohe Betriebssicherheit und der weite Meßbereich.

#### Patentansprüche

1. Massestrommeßgerät mit einem Meßrohr als Corioliswandler, das über flexible Verbindungsstücke in eine Massestromleitung gelegt ist, und mit am Meßrohr angesetzten Sensoren, die einer elektrischen Auswerteschaltung zugeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßrohr verschwenk- und/oder drehbar gelagert und mit einer Antriebsvorrichtung gekoppelt ist und daß die Auswerteschaltung eine Meßwert/Schätzwert-Vergleichsstufe als Auswahlstufe für die von den Sensoren gelieferten Rohmeßsignale aufweist.
2. Massestrommeßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßrohr durch die flexiblen Verbindungsstücke gelagert ist.
3. Massestrommeßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßrohr um eine quer zur Rohrachse gerichtete Achse verschwenkbar gelagert ist.
4. Massestrommeßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßrohr in einem Magnetfeld gelagert ist.
5. Massestrommeßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Antriebsvorrichtung vorgesehen ist, die berührungslos, z. B. elektromagnetisch, kapazitiv oder mittels Wirbelströmen mit dem Meßrohr gekoppelt ist.
6. Massestrommeßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebsvorrichtung Piezoelemente aufweist.
7. Massestrommeßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebsvorrichtung von dem strömenden Medium beaufschlagte Wirbelkörper aufweist.
8. Massestrommeßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Corioliswandler zusätzliche Kompensationssensoren aufweist, die in der Auswerteschaltung zusammen mit den anderen Rohmeßsignalen verarbeitet werden.
9. Verfahren zur Auswertung der Meßsignale in der elektrischen Auswerteschaltung des Massestrommeßgerätes nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
  - a) Bestimmung der Übertragungs- und Zustandsmatrizen des Corioliswandlers;
  - b) Eingabe der an den Sensoren des Corioliswandlers anfallenden Meßsignale in die Auswerteschaltung;
  - c) Bildung der Abweichung zwischen dem störbehafteten eigentlichen Rohmeßsignal und einem in der Auswerteschaltung berechneten Meßsignal;
  - d) Filterung dieser Abweichung, gegebenenfalls mit einem optimierenden Algorithmus, z. B. einem Kalmanfilter;
  - e) Bildung und Ausgabe des gesuchten Schätzwertes für den wirklichen Massestrom;
  - f) Berechnung eines Rohmeßsignals aus dem Schätzwert und erneuter Vergleich mit dem eigentlichen Rohmeßsignal;
  - g) gegebenenfalls Einbeziehung der Meßsignale der Kompensationssensoren in die Zustandsschätzung, d. h. Modifikation des Filter-

und/oder Schätzalgorithmus'.

10. Ein Massestrommeßgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß außer dem Schätzwert für den wirklichen Massestrom noch ein Eingangssignal für die Antriebsvorrichtung derart erzeugt wird, daß Corioliswandler und elektrische Auswerteschaltung zusammen einen selbstoptimierenden Regelkreis bilden.

5

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 3

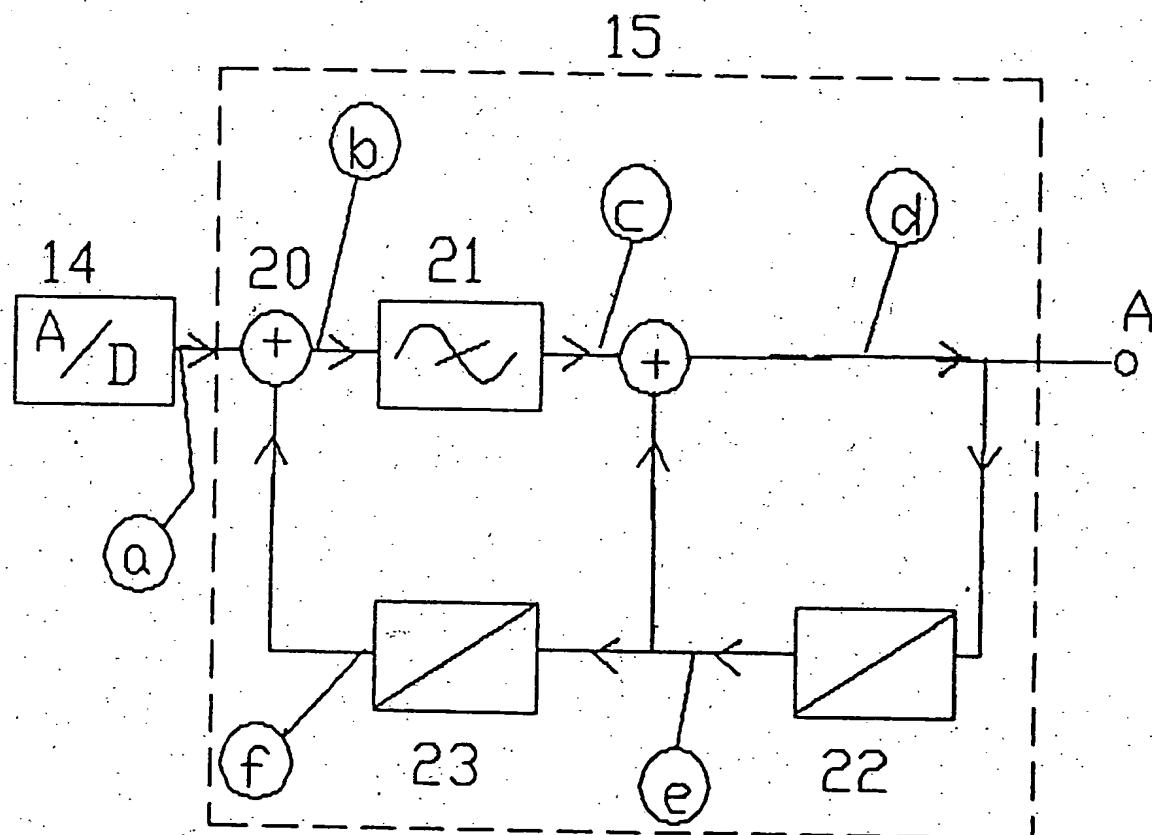


Fig. 4

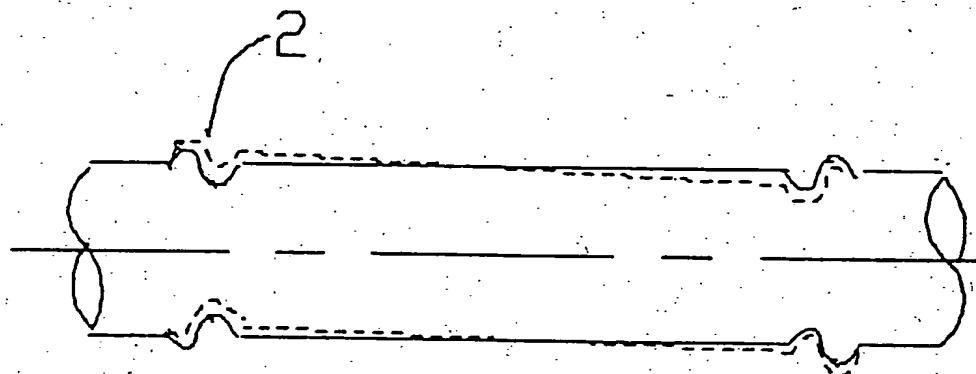


Fig. 5

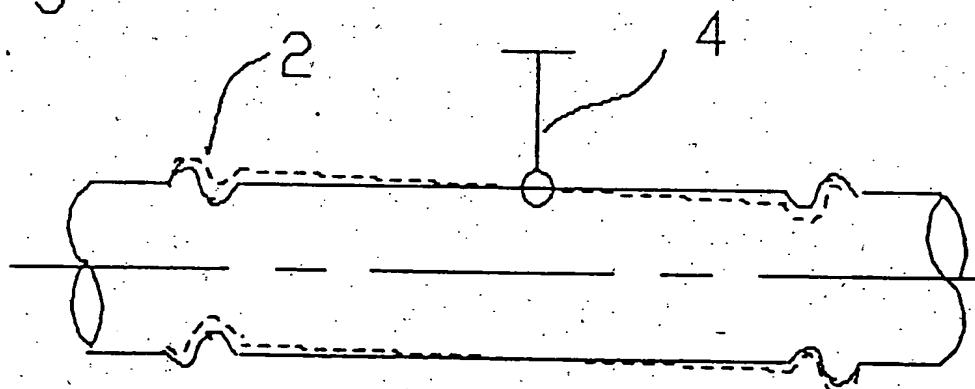


Fig. 6

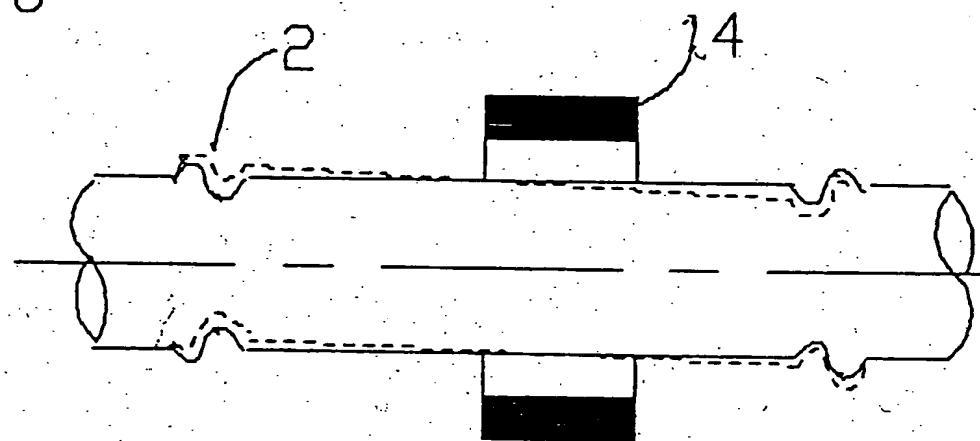


Fig. 7

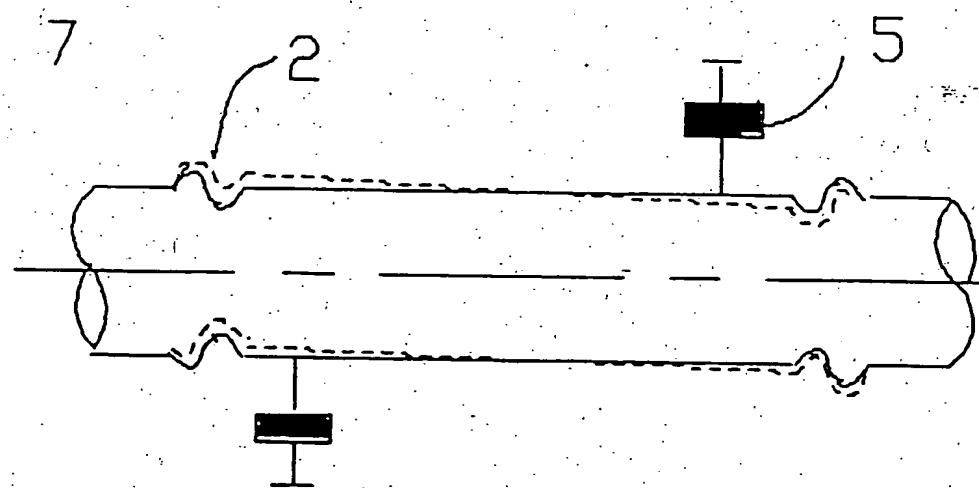


Fig. 8

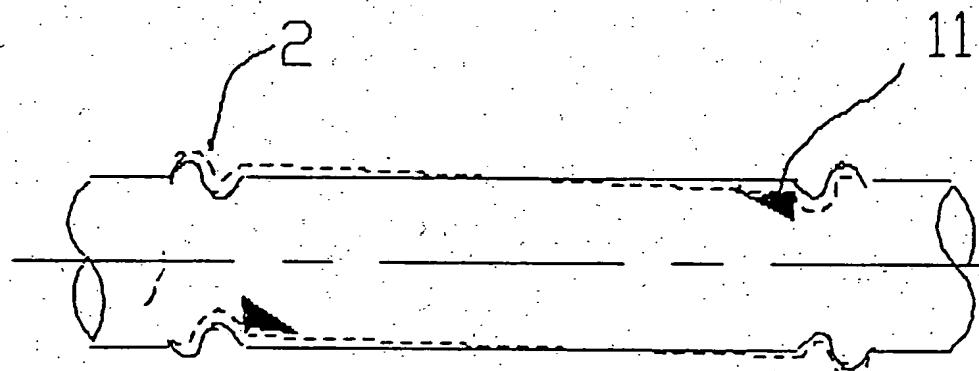
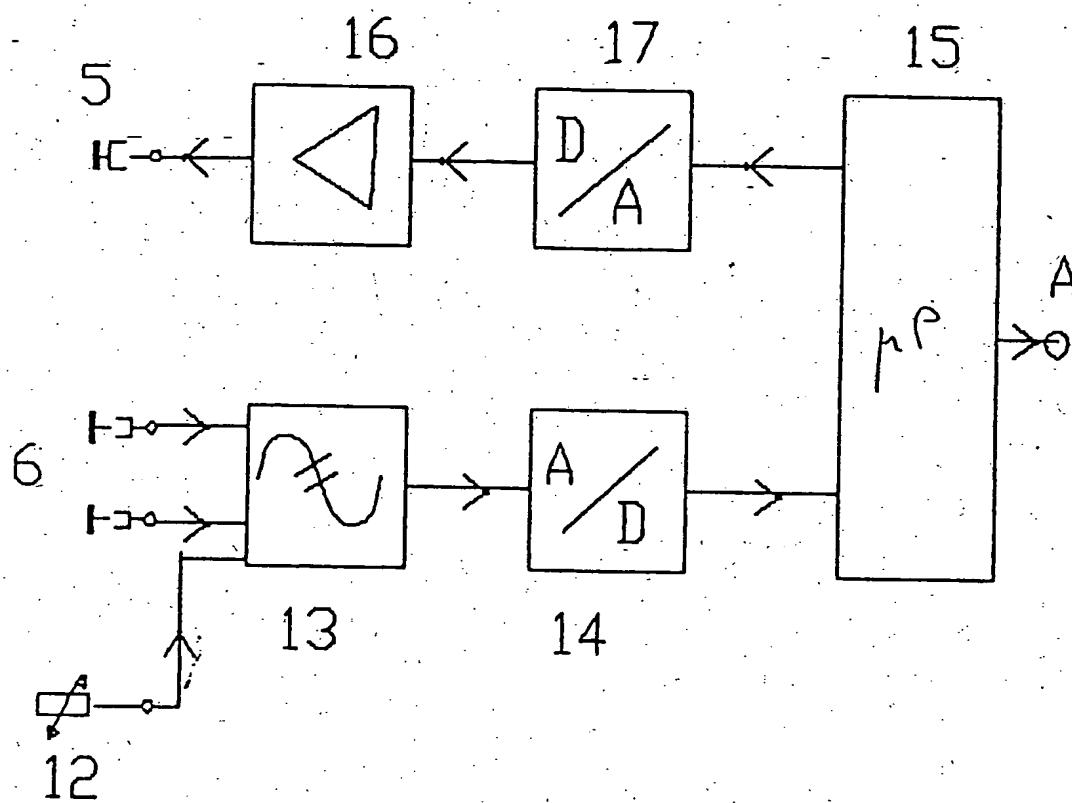
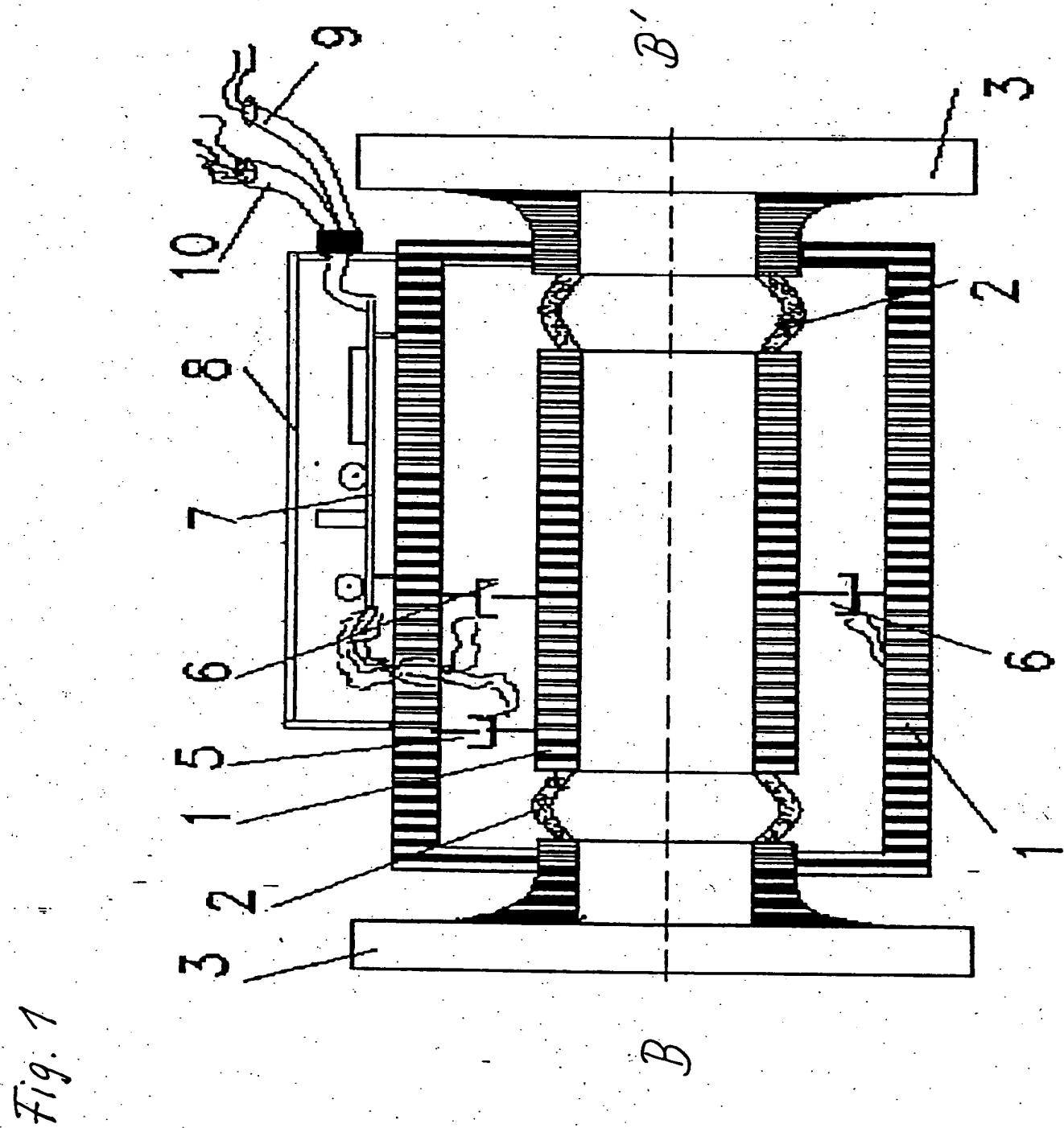


Fig. 2





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**